



Aplicación de algoritmos genéticos en mapas ionosféricos de f_oF2 para América del Sur

J. M. Jaen¹, E. Gularte¹ y D. D. Carpintero^{2,3}

¹ Geodesia Espacial y Aeronomía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.
juli.jaen@gmail.com

² Dinámica de Galaxias, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP.

³ Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina.

Resumen

En este trabajo presentamos los primeros pasos hacia una mejora en el modelado de la frecuencia de plasma correspondiente al máximo de densidad electrónica en la región ionosférica F2, f_oF2 , siendo este uno de los parámetros más importantes del perfil ionosférico.

Hasta el día de hoy, los mapas del CCIR (1966) (Comité Consultatif International des Radiocommunications) y los mapas de la URSI (1988) (Union Radio-Scientifique Internationale) siguen siendo el estándar internacional recomendado para la obtención de f_oF2 , encontrándose en el corazón de muchos modelos ionosféricos tales como el IRI (International Reference Ionosphere). En dichos modelos, la representación espacio-temporal de f_oF2 está basada en desarrollos en serie de Fourier, cuyos coeficientes fueron obtenidos a partir de datos de sondadores disponibles de la época, ubicados mayormente en el hemisferio Norte.

Nuestra propuesta consiste en recalcular los mapas ionosféricos de f_oF2 manteniendo la formulación propuesta por el IRI pero: a) haciendo uso de mediciones espacio-temporales no contempladas anteriormente y b) modelando el valor de f_oF2 con algoritmos genéticos. Los códigos de optimización basados en algoritmos genéticos se destacan frente a las técnicas tradicionales por poseer la capacidad de explorar eficientemente espacios de soluciones de muchas dimensiones, así como también por poder afrontar muestreos desfavorables: dos características esenciales que encontramos en nuestro problema al tener que determinar los 23.712 coeficientes para la representación global de la f_oF2 .

Para testear nuestro modelo nos centramos, en esta primera etapa, en la Región de América del Sur, utilizando mediciones de f_oF2 de ionosondas correspondientes a distintos ciclos solares. Dichas mediciones fueron provistas por la red RAPEAS (Red Argentina Para el Estudio de la Atmósfera Superior).

A partir del análisis estadístico de los nuevos valores obtenidos de f_oF2 con respecto tanto al observable como a los mapas ionosféricos estándar provistos por el IRI, encontramos un escenario favorable en cuanto al resultado de la optimización del valor de dicho parámetro, así como también en cuanto a la facilidad de incorporar nuevas mediciones en la metodología propuesta.

Palabras clave: f_oF2 , ionosfera, densidad electrónica, algoritmos genéticos.

Introducción



Uno de los modelos ionosféricos de referencia en la actualidad es el de la Ionosfera Internacional de Referencia (*IRI*, por sus siglas en inglés). Es un modelo semiempírico elaborado conjuntamente por el Comité de Investigaciones Espaciales (*COSPAR*, por sus siglas en inglés) y la Unión Internacional de Radio Ciencia (*URSI*, por sus siglas en francés). *IRI* describe las densidades y las temperaturas electrónicas e iónicas entre los 50 km y los 2000 km de altura. El modelo se ha ido mejorando de manera constante (Bilitza, 1990; Bilitza y Rawler, 1996; Bilitza y otros, 2014; Bilitza, 2015). A pesar de ello, el modelo *IRI* sigue utilizando los mapas del CCIR (1966) para representar la frecuencia crítica del máximo de la densidad electrónica, f_oF2 . Dichos mapas consisten en un conjunto de coeficientes (Jones y Gallet, 1962; Jones y otros, 1969) que fueron calculados con datos de sondadores ubicados mayormente en el hemisferio norte. Este trabajo propone probar la capacidad de un algoritmo genético basado en el algoritmo PIKAIA (Charbonneau y Knapp, 1996), para recalculer para América del Sur los mencionados coeficientes. Los códigos de optimización basados en algoritmos genéticos se destacan frente a las técnicas tradicionales por poseer la capacidad de explorar espacios de soluciones de muchas dimensiones, así como también de afrontar muestreos desfavorables: dos características esenciales que encontramos en nuestro problema al requerirse 23.712 coeficientes para la representación global de la f_oF2 a partir de observaciones aisladas en el espacio y el tiempo. Así, a partir de la gran cantidad de datos hoy en día existentes se espera lograr una mejor representación de f_oF2 .

Materiales y métodos

En base a la formulación matemática propuesta por el CCIR (1966), la ecuación que representa la frecuencia crítica de la capa F2 es:

$$f_oF2(\lambda, \varphi, t) = A_0(\lambda, \varphi) + \sum_{i=1}^8 [A_{2i-1}(\lambda, \varphi) \cos(it) + A_{2i}(\lambda, \varphi) \sin(it)],$$

siendo λ y φ la latitud y longitud geográficas, t el tiempo universal coordinado. Las funciones A_i quedan representadas por el octavo grado de expansión de funciones de Legendre:

$$A_i(\lambda, \varphi) = \sum_{j=0}^{J(0)} C_{ij0} P_{j0}(\lambda, \varphi) + \sum_{k=1}^8 \sum_{j=0}^{J(k)} (C_{ij(2k-1)} \cos(k\varphi) + C_{ij(2k)} \sin(k\varphi)) P_{jk}(\lambda, \varphi),$$

donde J son enteros que dependen de la longitud,

$$P_{jk}(\lambda, \varphi) = (\sin \chi(\lambda, \varphi))^j (\cos \lambda)^k,$$

y χ la latitud modip definida en función de la inclinación verdadera del campo geomagnético $I(\lambda, \varphi)$:

$$\chi(\lambda, \varphi) = \arctan(I(\lambda, \varphi) / \sqrt{\cos \varphi}).$$

Se recalculan 988 coeficientes (C_{ijk}) para cada mes y para dos niveles de actividad solar ($988 \times 12 \times 2 = 23.712$) empleando un algoritmo genético (AG). Estos algoritmos utilizan técnicas inspiradas en la evolución biológica natural, como la herencia, la mutación, la selección y el cruce. Se calcularon dichos coeficientes por medio del AG para 5.100 juegos de coeficientes (o individuos) que van mutando y mejorando su predicción de f_oF2 . La función de aptitud (APT) que se utiliza para evaluar los individuos es:

$$APT = \frac{1}{\sum_{Obs} |f_oF2_{AG}(\lambda, \varphi, t) - f_oF2_{Obs}|}$$

donde $f_oF2_{AG}(\lambda, \varphi, t)$ es la frecuencia calculada con los coeficientes del AG para una posición geográfica y un tiempo universal determinados por la frecuencia observada, f_oF2_{Obs} . Estas últimas, aportadas por la Red Argentina para el Estudio de la Atmósfera Superior (RAPEAS), provienen de siete estaciones de la región de América del Sur. Se adquirieron un total de 78.339 observables, correspondientes a valores diurnos horarios, para días tranquilos, en distintos meses y para distintas actividades solares entre los años 1958 y 2009.

Los parámetros del AG (Charbonneau y Knapp, 1996) se fijaron en 6 genes por cada coeficiente, mutación con ajuste dinámico que depende de la función APT , operador de cruce con probabilidad 0,95, método de selección proporcional a APT , y plan de reproducción de reemplazo completo. Luego de 500 generaciones, se obtuvo el individuo más apto, que corresponde al nuevo juego de coeficientes.

Resultados y discusión

Con los coeficientes calculados con el AG se procedió a evaluar la calidad de todos los valores de f_oF2 obtenidos. Para ello se ejecutó la rutina del IRI con los coeficientes obtenidos con el AG y luego con los coeficientes del CCIR, ambos con posiciones geográficas y tiempo universal correspondientes a las f_oF2_{Obs} . De esta manera se obtuvieron los valores de f_oF2 para los coeficientes obtenidos por el AG, f_oF2_{AG} , y los valores para los coeficientes provistos por el IRI, f_oF2_{CCIR} .

Para comparar los datos con los valores obtenidos por ambos modelos, se ajustó por mínimos cuadrados una recta de correlación entre los valores observados de f_oF2 y cada uno de los modelos, como se muestra en la Fig. 1. Para cuantificar una posible diferencia entre ambos, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson, resultando $\rho_{AG}=0,897$ para el AG y $\rho_{CCIR}=0,869$ para el IRI. Al ser valores cercanos a 1, esto implica que hay una correlación positiva importante entre los datos observados y los obtenidos mediante los modelos. Como $\rho_{CCIR} < \rho_{AG} < 1$, esto supondría una mejor representación

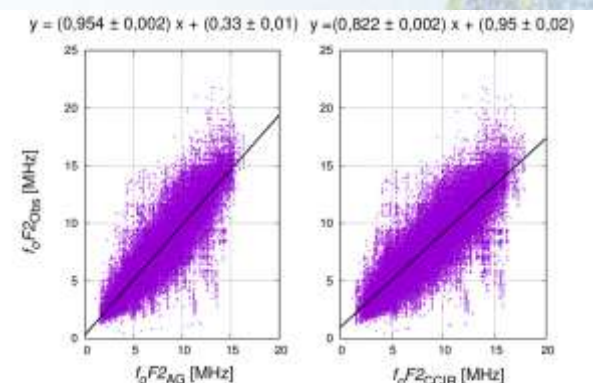


Figura 1. Correlación entre los datos observados (f_oF2_{Obs}) y calculados con el Algoritmo Genético (f_oF2_{AG}) a la izquierda, y entre los datos observados y los calculados por el CCIR (f_oF2_{CCIR}) a la derecha.



de la frecuencia crítica con el modelo propuesto, aunque la mejora es a primera vista marginal. Es por ello que se ha calculado, además, la significación estadística de estos coeficientes de correlación, a través de un test t de Student de la variable z de Fisher. En ambos casos, el área Q bajo la curva de densidad de probabilidad a la derecha del estadístico dio 0, lo cual indica verosimilitud estadística de ambos coeficientes con cualquier grado de confiabilidad preelegido. Como resultado se puede asegurar que ambos modelos son representativos de las frecuencias críticas del plasma ionosférico.

Es de interés conocer si el trabajo realizado representa una mejora significativa, es decir, si la implementación de este algoritmo provee de mejores coeficientes, o simplemente pertenecen a la misma muestra estadística que los del CCIR. Para ello se realizó un test de Fisher para comparar las varianzas. El resultado obtenido para el área bajo la curva de densidad de probabilidad del estadístico F que queda a la izquierda del valor calculado resulta $P = 1$. Por lo tanto, la hipótesis de que ambas varianzas son estadísticamente iguales es rechazable, concluyendo que los coeficientes del AG son estadísticamente distintos que los del CCIR. Teniendo en cuenta todos los resultados anteriores, se concluye que el conjunto de coeficientes obtenidos mediante el AG son estadísticamente superiores a los del CCIR.

Conclusiones

En este trabajo se implementó un nuevo método para calcular, para la región de América del Sur, los coeficientes que utiliza el IRI para calcular los valores de f_oF_2 . El método implementado se basa en un AG, obteniéndose como resultado una serie de nuevos coeficientes.

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico para medir la calidad de los coeficientes resultantes, comparándolos con los del modelo IRI, actualmente vigente, a través de tests estadísticos. En este análisis el coeficiente de correlación de Pearson resultó superior para las f_oF_2 calculadas con el AG que para las del CCIR, siendo ambas estadísticamente significativas. Esto permite afirmar que ambos coeficientes representan bien la f_oF_2 de la ionosfera. Sin embargo, la desviación estándar obtenida con el AG es menor que la obtenida con el CCIR. La aplicación de un test de Fisher muestra que ambos conjuntos de datos son estadísticamente distintos, es decir, que puede afirmarse que los coeficientes calculados con el AG constituyen una mejora con respecto a los tradicionales del CCIR, demostrando por un lado la capacidad de los AG y por otro, el éxito de esta nueva metodología para incorporar nuevos observables.

Agradecimientos

Agradecemos a las siguientes instituciones integrantes de RAPEAS: Dirección de Investigación de la Armada (DIIV), Instituto Antártico Argentino (IAA), Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio (ICATE), por habernos brindado la oportunidad de hacer uso de los datos ionosféricos de las estaciones de Buenos Aires, Trelew, Ushuaia (DIIV), Base Antártica San Martín (IAA), San Juan (ICATE), Jicamarca (Perú) y Concepción (Chile).

Referencias



Bilitza, D., 1990. International Reference Ionosphere 1990. National Space Science Data Center, NSSDC/WDC-A-R&S, 90-22.

Bilitza, D., 2015. The International Reference Ionosphere-Status 2013. Advances in Space Research. Elsevier, 55(8):1914-1927.

Bilitza, D., D. Altadill, Y. Zhang, C. Mertens, V. Truhlik, P. Richards, L. McKinnell, and B. Reinisch, 2014. The International Reference Ionosphere 2012 - A model of international collaboration. J. Space Weather and Space Clim. 4(A07): 1-12.

Bilitza D. and K. Rawer, 1996. International Reference Ionosphere. The Upper Atmosphere. Data Analysis and Interpretation. Springer-Verlag, Berlín. Heidelberg, 735-772.

CCIR, 1966. Comité Consultatif International des Radiocommunications. Report 340-1, ISBN 92-6104417-4, Ginebra, Suiza.

Charbonneau P. and B. Knapp, 1996. A user's guide to PIKAIA 1.0. NCAR Technical Note 418+IA, National Center for Atmospheric Research.

Fox M. and L. McNamara, 1988. URSI, Improved worldwide maps of monthly median f_oF2 . Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 50(12):1077-1086.

Jones W. and R. Gallet, 1962. Representation of diurnal and geographical variations of ionospheric data by numerical methods. Telecommunication Journal, 29:129-149.

Jones W., R. Graham, and M. Leftin, 1969. Advances in Ionospheric Mapping by Numerical Methods. ESSA Technical Report ERL, US Government Printing Office, Washington DC, USA, 107-ITS 75.